

Ricerca di Sistema elettrico



Ricarica dinamica per TPL: progettazione e realizzazione di un sistema di trasporto con ricarica in movimento per il convoying (LA3.11)

Adriano Alessandrini, Lorenzo Berzi, Luca Pugi

Ricarica dinamica per TPL: progettazione e realizzazione di un sistema di trasporto con ricarica in movimento per il convoying (LA3.11)

Adriano Alessandrini (UNIFI DICEA), Lorenzo Berzi (UNIFI DIEF), Luca Pugi (UNIFI DIEF)

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: Tema di ricerca 1.7 - Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Linea di attività: 3.10

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work Package: Fernando, Ortenzi, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Adriano, Alessandrini, UNIFI DICEA

Mese inizio previsto: 19

Mese inizio effettivo: 19

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione: *Progettazione di un sistema di bordo per la ricarica in movimento di veicoli per TPL e progettazione e realizzazione di un sistema di trasporto con ricarica in movimento per il convoying*

Indice

1 Risultati attesi	5
2 Risultati ottenuti	6
3 Prodotti attesi	7
4 Prodotti sviluppati.....	8
5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati	9
6 Sintesi delle attività svolte	10
7 Dettaglio delle attività svolte	11
7.1 Nuovo sistema di alimentazione per minibus (completamento LA 3.10)	11
7.2 Sito e infrastruttura per la ricarica in movimento	11
7.2.1 Sito	12
7.2.2 Infrastruttura	12
7.3 Integrazione sistema di ricarica a bordo autobus	14
7.4 Test di ricarica in movimento e scambio di carica fra veicoli	17
7.4.1 Test a veicoli fermi.....	18
7.4.2 Test in trazione	21
7.4.3 Conclusioni.....	25
8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte	26
9 Pubblicazioni scientifiche	27
10 Eventi di disseminazione.....	28

Indice delle figure

Figura 1 – Nuovo sistema di alimentazione durante i test in laboratorio: vista complessiva (sinistra) e test di alimentazione per verifica di funzionamento dei singoli sottoassiemi.	11
Figura 2 – Foto aerea (fonte Google Maps) del sito con indicato in bianco la posizione della catenaria per 150 metri.	12
Figura 3 – Schema della catenaria (vista dall’alto).	13
Figura 4 – Braccetto di contatto per chiusura del circuito su rotaia: vista frontale in configurazione ritratta (sinistra), vista isometrica in configurazione estesa in cui si evidenzia altresì l’invito del profilo guida (destra).	13
Figura 5 – Installazione del cassone a bordo di uno dei due autobus	14
Figura 6 – Monitoraggio dei parametri di funzionamento del sistema di alimentazione durante un test di marcia di otto minuti, con in ordine (da sinistra a destra, dall’alto in basso): voltaggio della batteria; voltaggio in uscita dai convertitori DC-DC (lato bassa tensione); voltaggio in ingresso ai convertitori DC-DC (lato alta tensione); energia assorbita; corrente in uscita dalla batteria; corrente in uscita dai convertitori DC-DC (lato bassa tensione); corrente in ingresso ai convertitori DC-DC (lato alta tensione); rapporto energetico; potenza della batteria; potenza in uscita dai convertitori DC-DC (lato bassa tensione); potenza in ingresso ai convertitori DC-DC (lato alta tensione); energia assorbita; stato di carica (SOC) e temperatura della batteria; temperatura dei convertitori DC-DC; efficienza di un convertitore DC-DC; rapporto energetico;	15
Figura 7: Caricatore usato per simulare la captazione da catenaria (sinistra).....	17
Figura 8: Collegamento fra i due veicoli per consentire lo scambio di carica.....	18
Figura 9: Schema dei flussi energetici nella configurazione di test, che distingue i lati di alta e bassa tensione.....	18
Figura 10: Grafico dei valori di potenza registrati sul ramo di alta tensione, e tensione del DC-BUS, durante test da fermo	20
Figura 11: Grafico dei valori di potenza registrati sul ramo di bassa tensione durante test da fermo	21
Figura 12: Scatter plot dei valori di corrente transitante fra veicoli in funzione della tensione del DC-BUS, durante test da fermo	22
Figura 13: Grafico dei valori di potenza registrati sul ramo di alta tensione, e tensione del DC-BUS, durante test in trazione.....	23
Figura 14: Grafico dei valori di potenza registrati sul ramo di bassa tensione durante test in trazione	24
Figura 15: Grafico dei valori di potenza verso il powertrain del veicolo e quelli misurati dal banco a rulli, e misura di velocità del veicolo	25
Figura 16: Scatter plot dei valori di corrente transitante fra veicoli in funzione della tensione del DC-BUS, durante test in trazione	26

Indice delle tabelle

1 Risultati attesi

L'Università di Firenze ha brevettato una connessione meccanica tra veicoli automatizzati che consente di realizzare convogli di veicoli eterogenei. Questa soluzione tecnologica offre notevoli opportunità per sviluppare innovativi sistemi di trasporto (urbani e non) ed in particolare amplia le opportunità di impiego per veicoli elettrici. È una fondamentale tecnologia abilitante la ricarica in movimento di questi veicoli quando in convoglio in modo da garantirne un'autonomia virtualmente illimitata senza bisogno di soste tecniche.

L'obiettivo principale di questa LA è stato quello di progettare, prototipare e dimostrare la ricarica in movimento per convogli di veicoli elettrici anche dotati di sistemi di accumulo a bordo eterogenei. Il secondo obiettivo è dimostrare la capacità di scambiare carica fra i sistemi di accumulo dei veicoli di uno stesso convoglio in modo da garantire che anche in assenza di ricarica non vi siano veicoli che restino senza energia.

Alla fine del progetto si sono resi disponibili due minibus, entrambi automatizzati e in grado di disporsi in convoglio. Uno dei due ospita la nuova soluzione per l'accumulo di bordo scelta dalla LA 3.10, mentre l'altro possiede l'alimentazione originale con strumentazione in grado di gestire le differenze di voltaggio tra i due mezzi. Si sono svolti quindi test della ricarica in movimento di un plotone dei due minibus con sistemi di accumulo eterogenei e dimostrata la capacità di scambio di carica fra i due sistemi dal più carico al meno carico.

I risultati attesi dalla LA 3.11 erano:

1. contribuzione alla progettazione del sistema di bordo e di interfaccia con quello di terra della LA 3.10. Questa attività consente di definire le modifiche da implementare in modo da avere due bus funzionanti indipendentemente e come convoglio;
2. implementazione delle modifiche e testing della ricarica in linea per il secondo bus;
3. realizzazione del convoglio, testing della ricarica in linea e del trasferimento di carica.

2 Risultati ottenuti

I risultati ottenuti sono:

1. chiusura delle attività incomplete della LA 3.10 (100%)
2. progettazione del sistema di bordo e di interfaccia con quello di terra della LA 3.10 (100%)
3. implementazione delle modifiche e testing della ricarica in linea per il secondo bus (100%)
4. realizzazione del convoglio, testing della ricarica in linea e del trasferimento di carica (100%)

3 Prodotti attesi

I prodotti attesi dalla presente LA consistono in:

- Rapporto tecnico di completamento attività, che descriva il progetto delle modifiche da effettuare ai sistemi di bordo esistenti per mettere il bus aggiornato in ordine di marcia, i test fatti sul veicolo in movimento, i risultati delle valutazioni delle efficienze di ricarica e trasferimento di energia e dei differenti consumi dei veicoli tra marcia solitaria ed in convoglio.
- Sistema veicolare in grado di recuperare carica durante la marcia
- Sistema veicolare in grado scambiare carica con ulteriori veicoli durante la marcia, anche con alimentazione eterogenea

4 Prodotti sviluppati

I prodotti sviluppati dalla presente LA sono:

- Il sistema innovativo di alimentazione da installare a bordo di uno dei minibus
- Il presente rapporto tecnico dal titolo "Ricarica dinamica per TPL: progettazione e realizzazione di un sistema di trasporto con ricarica in movimento per il convoying (LA3.11)"
- Minibus in grado di recuperare carica durante la marcia
- Minibus con alimentazione aggiornata in grado scambiare carica con un secondo minibus durante la marcia, avente alimentazione originale

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Tutte le funzionalità del convoglio previste sono state realizzate e testate, anche in assenza della catenaria, che doveva essere realizzata nell'ambito della LA3.9 a responsabilità ENEA. Le funzionalità di ricarica progettate e realizzate nella presente linea di attività sono state testate al banco a rulli con successo. In particolare, è stata dimostrata la ricarica dalla rete elettrica al veicolo di testa del convoglio in movimento simulato sul banco a rulli e la condivisione della carica con i veicoli che seguono, come da programma.

6 Sintesi delle attività svolte

Per il raggiungimento dei risultati attesi di progetto si sono svolte le seguenti attività:

1. Completamento del sistema di accumulo innovativo, integrazione a bordo di uno dei minibus di progetto, relativo test in condizioni statiche e dinamiche;
2. Identificazione del sito per l'installazione dell'infrastruttura di ricarica, studio delle caratteristiche dell'infrastruttura e sviluppo delle tecnologie veicolari necessarie alla captazione energetica durante la marcia;
3. Svolgimento di prove su banco a rulli per investigare la capacità del singolo veicolo di recuperare energia anche durante la marcia;
4. Svolgimento di prove in convoglio per determinare la capacità dei bus di progetto di condividere la carica in maniera efficace.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 Nuovo sistema di alimentazione per minibus (completamento LA 3.10)

Il nuovo sistema di alimentazione è stato completato successivamente al report della LA3.10 cui tale attività faceva riferimento. Il sistema è incluso in un cassone da installarsi a bordo dell'autobus, in cui sono collocati convertitori DC (powertrain del minibus a 72 V, batteria a 400 V), relé, scambiatori di calore, pompe, ingressi per fluidi refrigeranti sperimentali, etc. La Figura 1 illustra il sistema di alimentazione in fase di test in laboratorio successivamente all'assemblaggio.

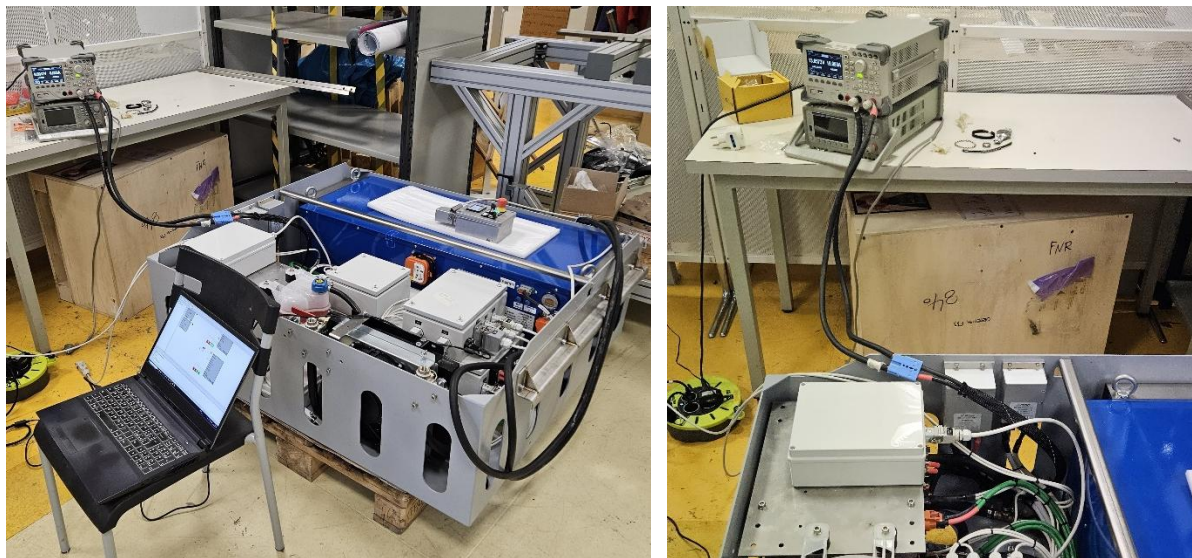


Figura 1 - Nuovo sistema di alimentazione durante i test in laboratorio: vista complessiva (sinistra) e test di alimentazione per verifica di funzionamento dei singoli sottoassiemi.

7.2 Sito e infrastruttura per la ricarica in movimento

All'interno della presente LA, risorse rilevanti sono state spese per l'organizzazione della messa in opera del sistema di ricarica nel suo complesso, in particolare per selezionare gli spazi dedicati alla ricarica dei veicoli e le relative modalità. Come già descritto nella LA 3.10, il fornitore dell'infrastruttura per la ricarica (catenaria) era già stato selezionato; tuttavia, non è stato possibile raggiungere un accordo tra UNIFI e ENEA in merito agli spazi dove installarla nei tempi previsti da progetto, considerando anche i necessari periodi legati alla concessione degli spazi e all'ottenimento delle autorizzazioni da parte degli enti locali. La presente sezione riepiloga le attività svolte per la definizione del sito e l'installazione dell'infrastruttura di ricarica; seppur le azioni non abbiano portato alla messa in opera di una soluzione, queste costituiscono le basi per ulteriori sviluppi e progetti nello stesso ambito e in un futuro prossimo.

7.2.1 Sito

L'infrastruttura di ricarica è funzionale alla dimostrazione della fattibilità della ricarica in movimento di bus (e convogli di bus) con catenarie monofilari (di tipo tranviario o ferroviario); il concetto alla base della sperimentazione è che i bus possano in futuro sfruttare le

infrastrutture tranviarie esistenti (in solitaria o convogliati con i rotabili tranviari) per effettuare servizi di trasporto semiautomatico in ambito urbano.

La sede stradale che è stata selezionata per la collocazione della catenaria tramviaria (ed il conduttore di ritorno a terra costituito da una rotaia) è una zona chiusa alla circolazione nel Campus di Sesto Fiorentino, in provincia di Firenze. La presenza di un'infrastruttura di ricarica in tale zona favorirebbe lo sviluppo di un servizio nella Città Metropolitana di Firenze a partire proprio da un servizio di trasporto all'interno del Campus di Sesto Fiorentino, collegandolo al meglio con tram, treno ed altre importanti infrastrutture di trasporto. L'infrastruttura avrebbe dovuto estendersi per 150 metri a partire dal parcheggio dell'edificio. Nella Figura 2 si riporta una foto aerea presa da Google Maps del sito posto sull'angolo Nord-Est del Campus di Sesto. La catenaria avrebbe dovuto essere costruita sul lato destro della strada per lasciare spazio ad eventuali veicoli circolanti al di fuori degli orari di test.



Figura 2 – Foto aerea (fonte Google Maps) del sito con indicato in bianco la posizione della catenaria per 150 metri.

7.2.2 Infrastruttura

La Figura 3 riporta uno schema di come sarebbe dovuta apparire la catenaria (vista dall'alto), nella configurazione da 150 m di lunghezza complessiva. Tramite mensole, quattro pali M29 sostengono il cavo superiore di alimentazione (polo positivo), fissato a pali M32 e precaricato da un Tensorex; a terra, il circuito viene chiuso tramite contatto con un profilo guida (polo negativo). I quattro pali M29 sono distanti 30 metri, mentre i pali M32 coprono l'intera lunghezza prevista di 150 metri. Si è preventivato l'uso di staffe di supporto dei cavi in vetroresina, che permettono una riduzione dei pesi (e dei volumi di fondazione) rispetto a più tipiche applicazioni totalmente in acciaio.

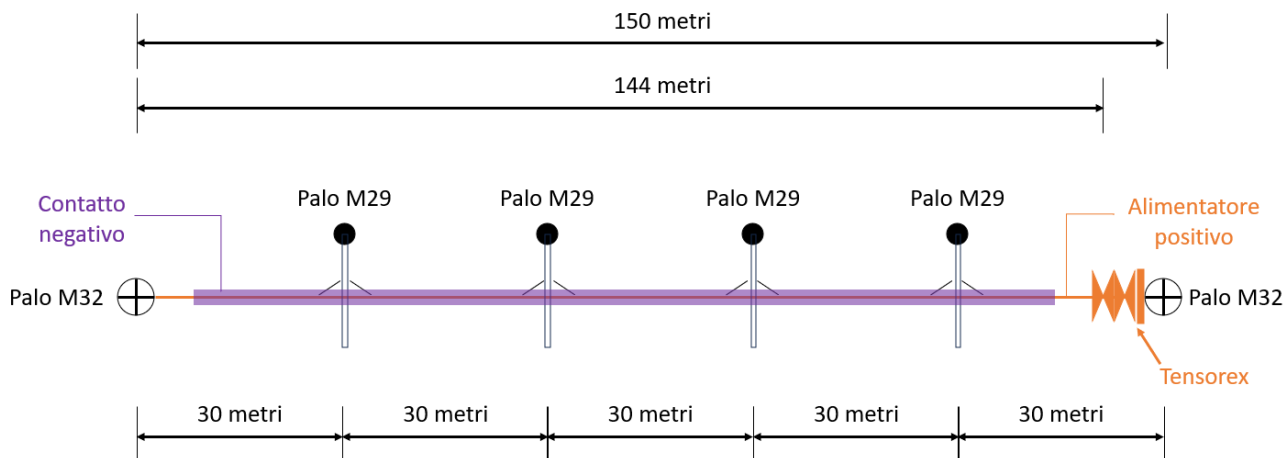


Figura 3 – Schema della catenaria (vista dall'alto).

Per la captazione dell'energia dalla catenaria (polo positivo), i veicoli di progetto sono dotati di pantografo (di cui uno acquistato appositamente per le attività di progetto). Per la completa chiusura del circuito di ricarica, è previsto lo sviluppo di un meccanismo da integrarsi a bordo veicolo in prossimità dell'asse posteriore (Figura 4). Quando il mezzo si trova in corrispondenza della sede di ricarica, un braccio elettro-attuato ruota rispetto ad un fulcro fissato al telaio del veicolo, mettendo in contatto un pattino a basso attrito col profilo guida (rotaia, polo negativo); si è previsto che il profilo guida possa fissarsi alla sede stradale tramite tassellature, di modo da limitare i lavori necessari al suo interrimento. Il contatto pattino-profilo guida è mantenuto dalla posizione impostata dall'attuatore, con una forza applicata dal pattino sulla guida corrispondente a circa 10 kg. All'ingresso del profilo guida è presente un invito che instrada il pattino verso la mezzeria del profilo guida, per la compensazione di eventuali disassamenti rispetto alla direzione di moto del veicolo. All'interno del meccanismo sono previsti alcuni sistemi di ammortizzazione delle vibrazioni, che possono eventualmente derivare da irregolarità nella superficie del profilo guida.

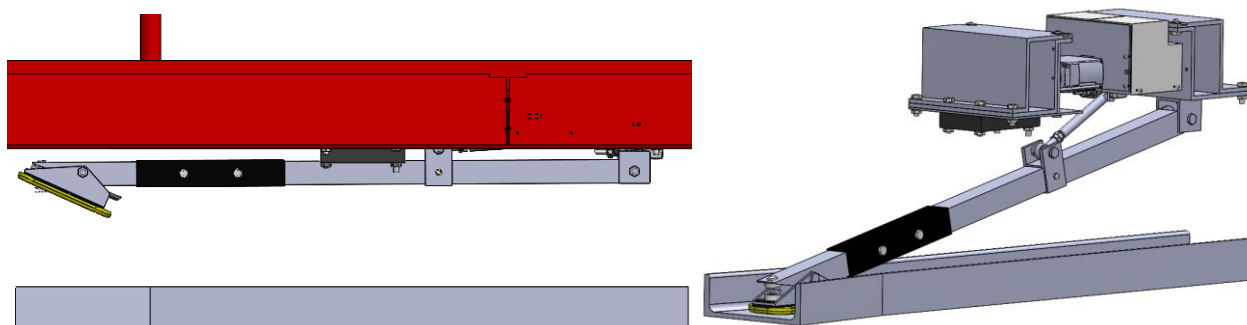


Figura 4 – Braccetto di contatto per chiusura del circuito su rotaia: vista frontale in configurazione ritratta (sinistra), vista isometrica in configurazione estesa in cui si evidenzia altresì l'invito del profilo guida (destra).

7.3 Integrazione sistema di ricarica a bordo autobus

Il nuovo sistema di alimentazione è stato introdotto a bordo dell'autobus assieme al relativo cassone, come visibile in Figura 5.



Figura 5 - Installazione del cassone a bordo di uno dei due autobus

Una volta installato a bordo il cassone, sono stati condotti dei test col veicolo aggiornato al fine di determinare il corretto funzionamento degli apparati anche in fase di marcia. La Figura 6 riporta i risultati di un test eseguito all'interno del campo prova di ENEA per una durata complessiva di otto minuti, in cui si sono monitorate alcune caratteristiche elettriche di singole parti del sistema (batterie e convertitori DC-DC).

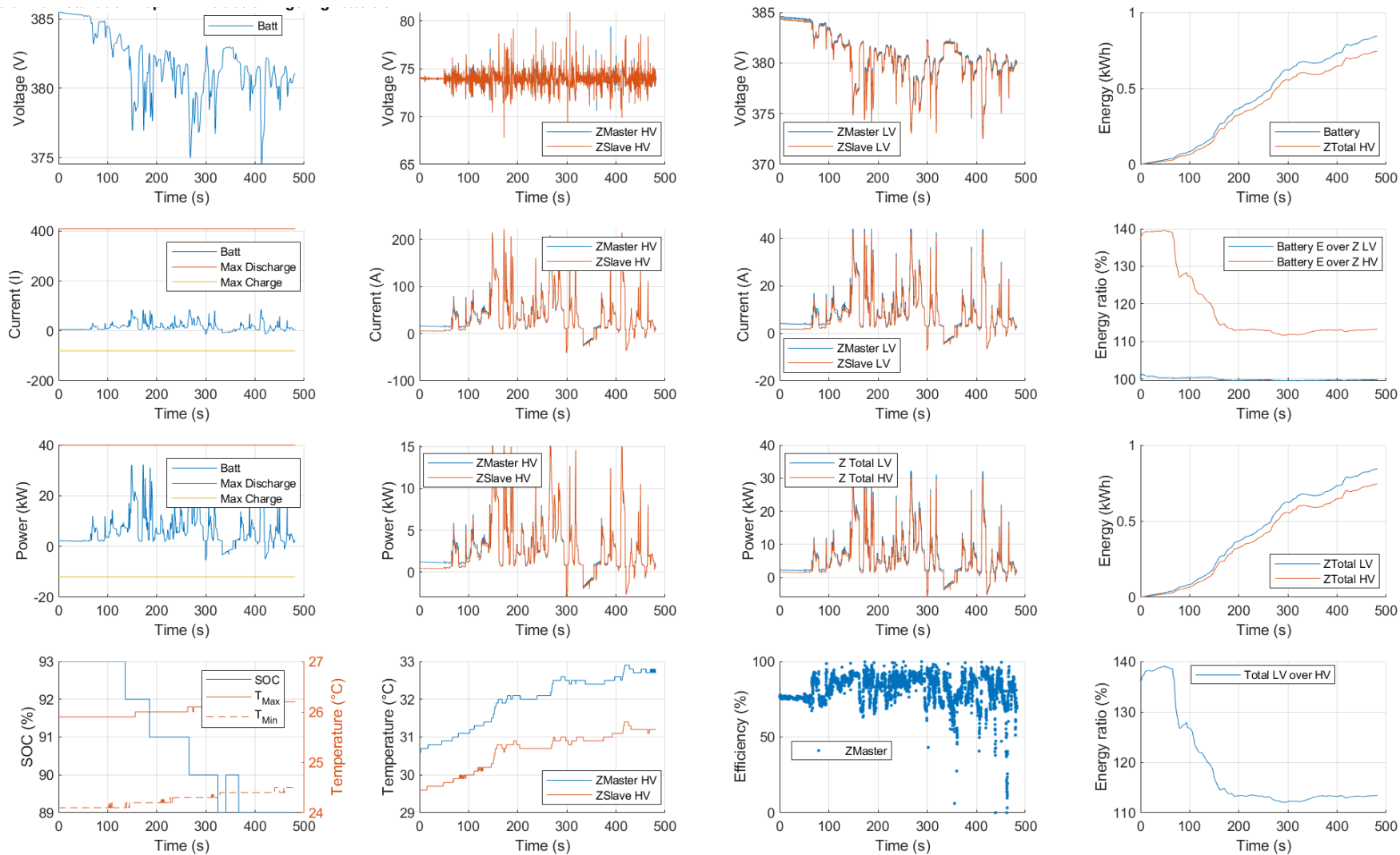


Figura 6 – Monitoraggio dei parametri di funzionamento del sistema di alimentazione durante un test di marcia di otto minuti, con in ordine (da sinistra a destra, dall'alto in basso):
 voltaggio della batteria; voltaggio in uscita dai convertitori DC-DC (lato bassa tensione); voltaggio in ingresso ai convertitori DC-DC (lato alta tensione); energia assorbita; corrente in uscita dalla batteria; corrente in uscita dai convertitori DC-DC (lato bassa tensione); corrente in ingresso ai

convertitori DC-DC (lato alta tensione); rapporto energetico; potenza della batteria; potenza in uscita dai convertitori DC-DC (lato bassa tensione); potenza in ingresso ai convertitori DC-DC (lato alta tensione); energia assorbita; stato di carica (SOC) e temperatura della batteria; temperatura dei convertitori DC-DC; efficienza di un convertitore DC-DC; rapporto energetico;

7.4 Test di ricarica in movimento e scambio di carica fra veicoli

In seguito all'installazione del cassone sono stati eseguiti test di scambio di carica tra due autobus appartenenti allo stesso convoglio e di captazione tramite catenaria. Per semplicità in questa sezione il veicolo equipaggiato con il nuovo sistema di alimentazione sarà indicato come Master, mentre il secondo minibus sarà denominato Slave.

Per i test di trazione il veicolo Master è stato posizionato su un banco a rulli in modo da consentire l'esecuzione in sicurezza delle prove di interfacciamento con dispositivi esterni, nello specifico un alimentatore per simulare la



captazione tramite pantografo (

Figura 7) e il cassone del veicolo Slave per studiare lo scambio di energia tra i due mezzi (



Figura 8). La configurazione adottata per gli scambi energetici, così come la convenzione sui segni dei flussi di potenza, è riportata in

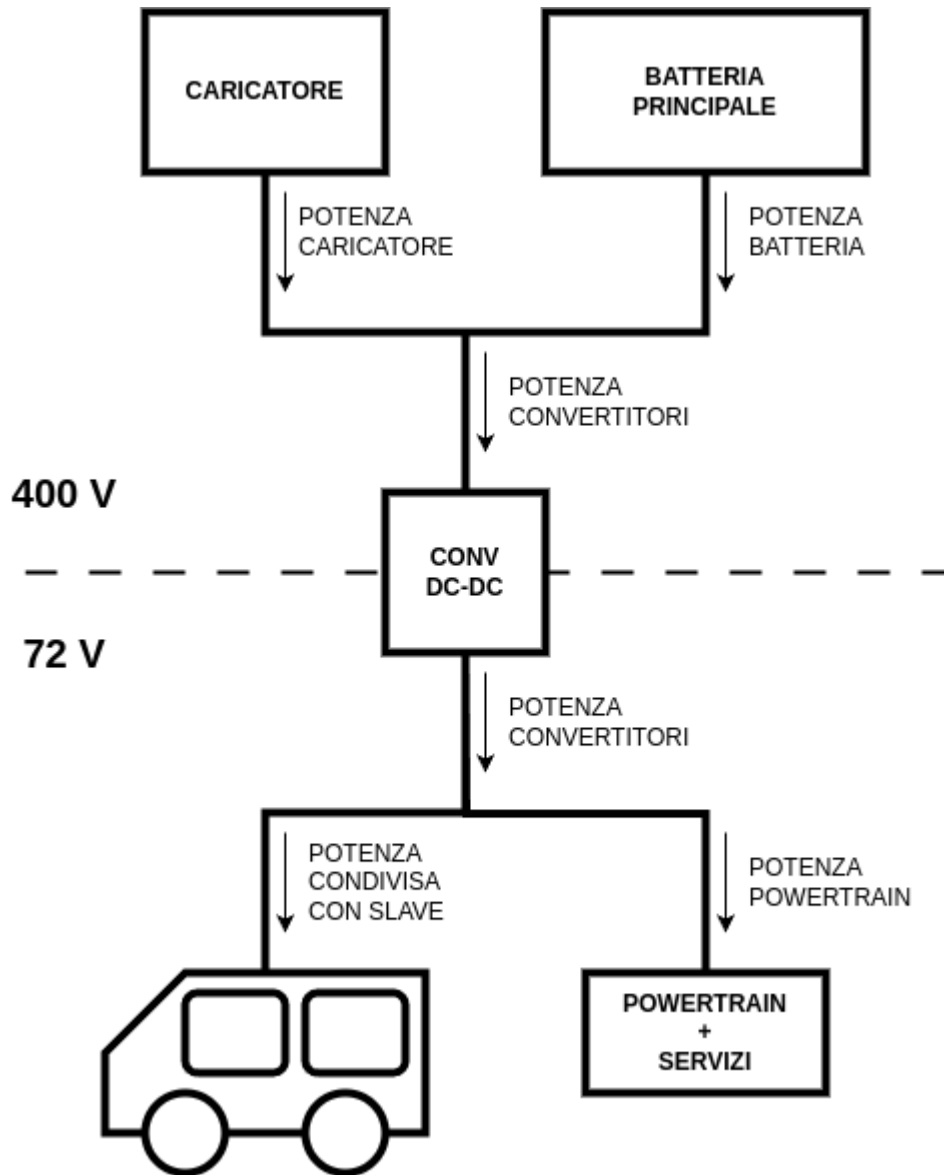


Figura 9.



Figura 7: Caricatore usato per simulare la captazione da catenaria (sinistra)



Figura 8: Collegamento fra i due veicoli per consentire lo scambio di carica

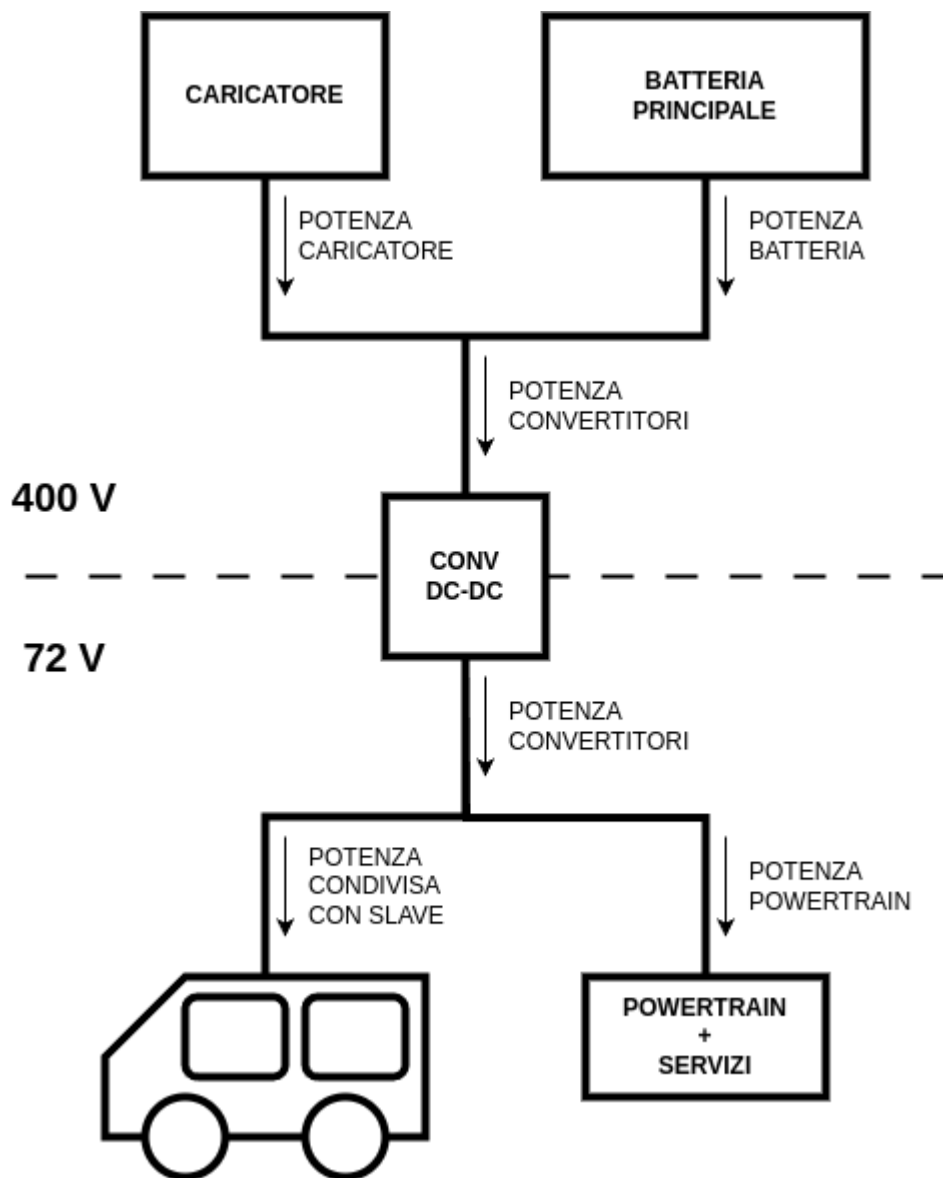


Figura 9: Schema dei flussi energetici nella configurazione di test, che distingue i lati di alta e bassa tensione

Il caricatore esterno è stato collegato al ramo a 400V del cassone del Master, in parallelo alla batteria principale. Il collegamento tra i cassoni del Master e dello Slave avviene invece sul DC-BUS a valle dei convertitori, tenuto ad almeno 72V. Questo passaggio intermedio tramite i convertitori consente di simulare diversi scenari di scambio di potenza: i convertitori dello Slave mantengono una tensione costante di 74,5V, mentre i convertitori del Master vengono modulati in tensione per controllare la direzione della corrente, permettendo così il passaggio di corrente in entrambi i sensi e consentendo quindi di testare il comportamento del sistema sia in ricezione che in cessione di energia.

Sono state analizzate diverse condizioni operative, ovvero con il caricatore esterno collegato o scollegato, con il veicolo Master che agisce come donatore o ricevente di energia, sia a veicolo fermo che durante la trazione sul banco a rulli. Per brevità si riportano i risultati delle prove più complete, specificatamente i test sia a fermo veicolo sia in trazione,

con captazione da alimentatore esterno sempre attiva e con scambio di ruolo donatore-ricevente fra veicoli.

7.4.1 Test a veicoli fermi

La

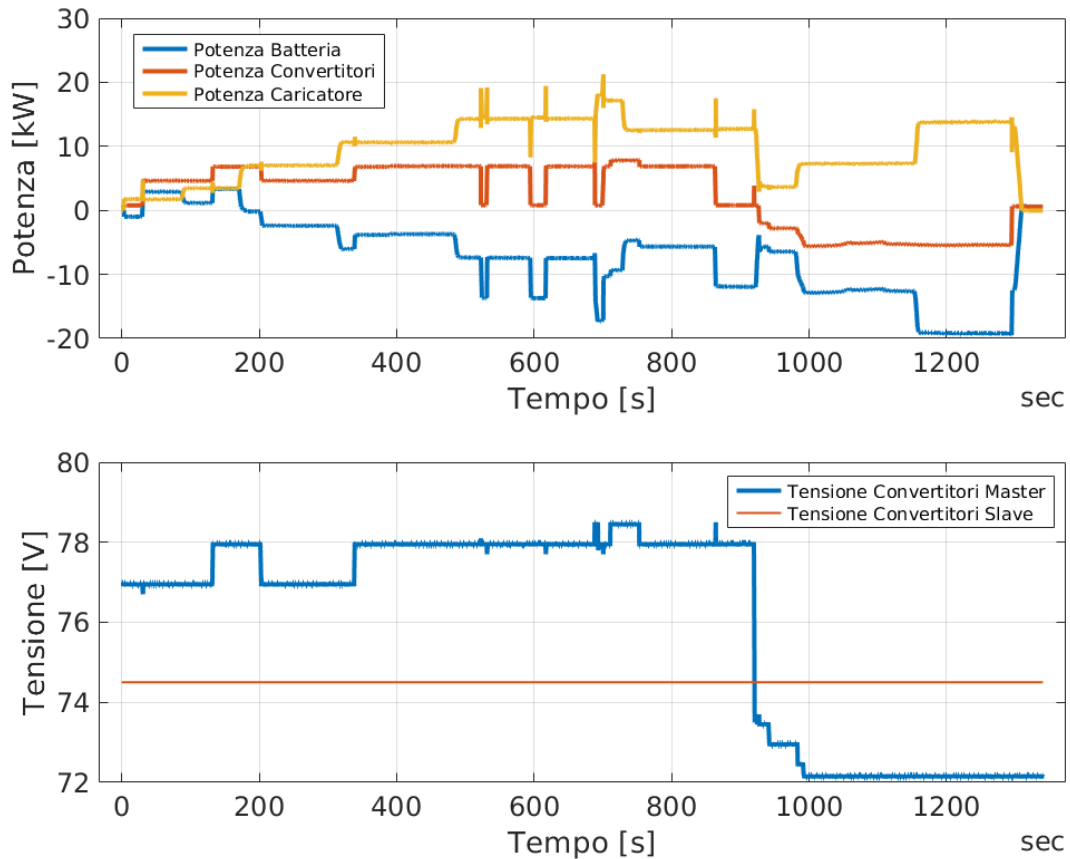


Figura 10 riporta gli scambi energetici sul ramo a 400V del veicolo Master durante il test a veicoli fermi.

Il veicolo è stato caricato dal caricatore esterno per tutta la durata della prova. Nella prima parte il veicolo Master ha fornito corrente al veicolo Slave. Al secondo 920 la tensione dei convertitori del Master è stata abbassata al di sotto di quella dello Slave, provocando un'inversione della direzione di corrente e trasformando il veicolo Master in ricevente. In questa seconda fase, la batteria del Master viene caricata sia dal caricatore esterno sia dalla batteria dello Slave, con una potenza entrante stabile di circa 20 kW, in linea con le specifiche progettuali.

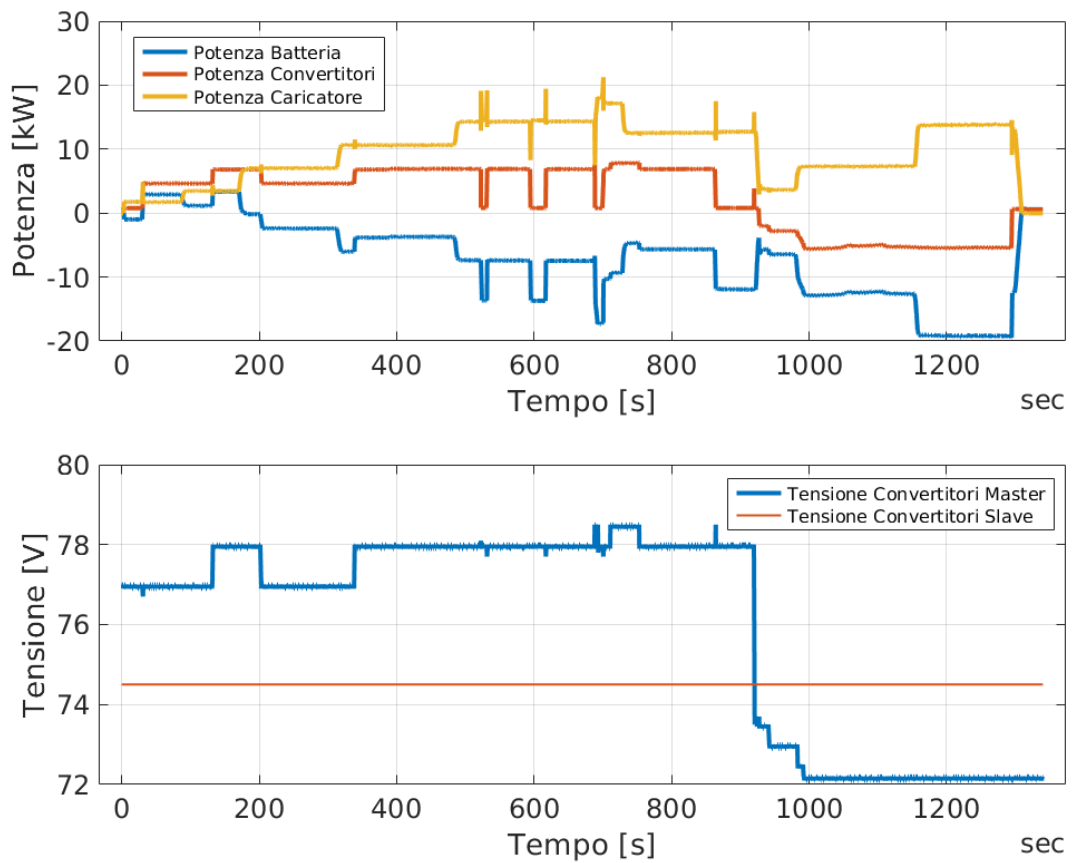


Figura 10: Grafico dei valori di potenza registrati sul ramo di alta tensione, e tensione del DC-BUS, durante test da fermo

La

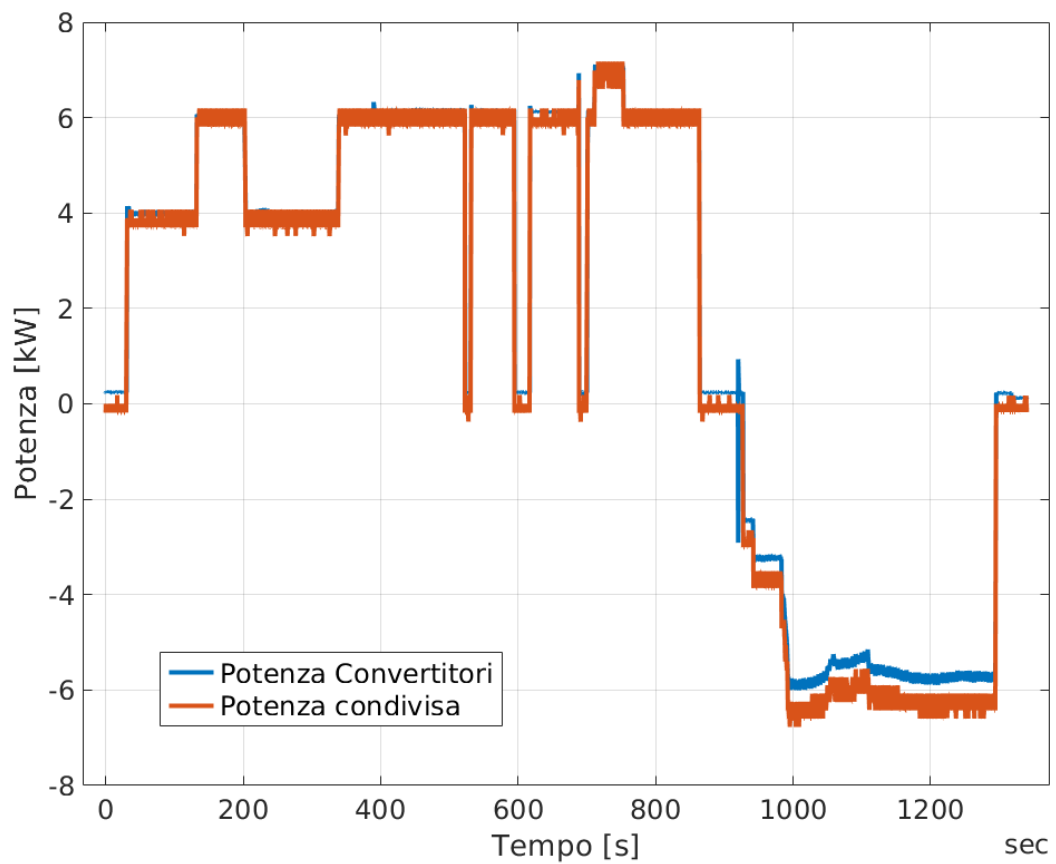


Figura 11 mostra invece gli scambi sul DC-BUS a 72V. Sia in fase di donazione che di ricezione, la potenza scambiata è risultata stabile a circa 6 kW.

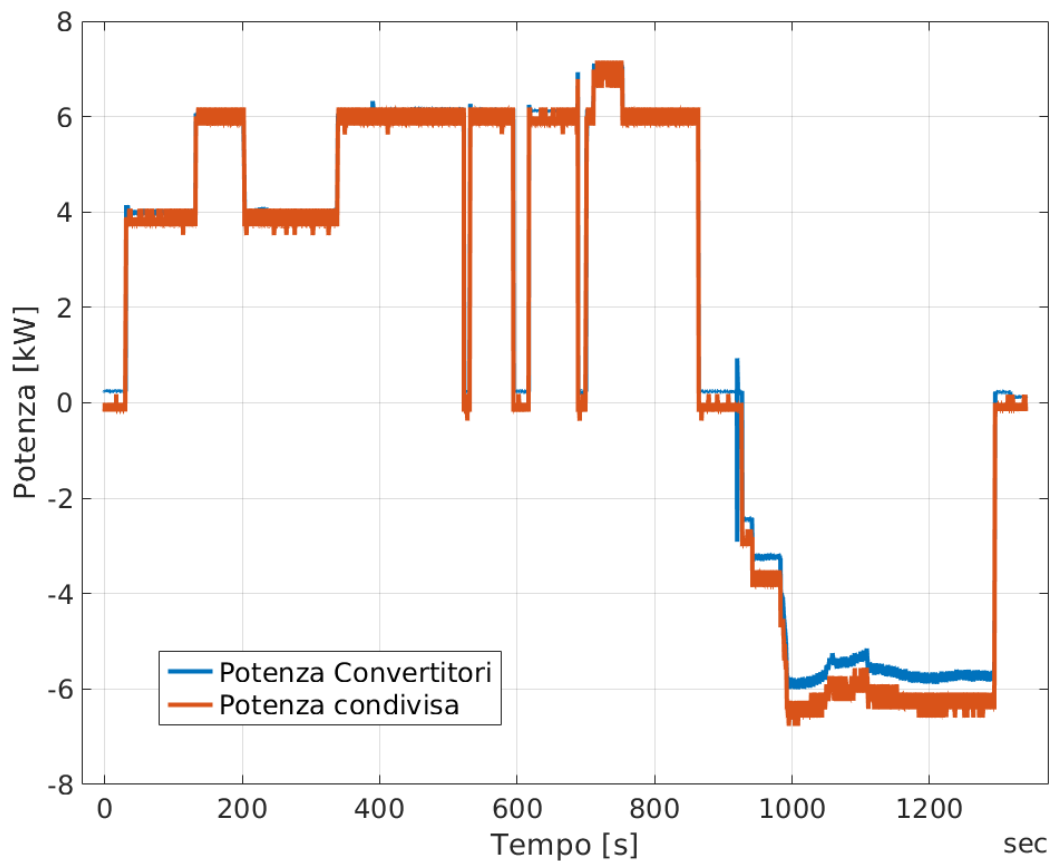


Figura 11: Grafico dei valori di potenza registrati sul ramo di bassa tensione durante test da fermo

Il grafico mostra che per raggiungere uno scambio di circa 70-80A (equivalenti al target di potenza di 5kW o superiore) è richiesto di variare la tensione di lavoro del DC-BUS in modo proporzionale alla corrente desiderata.

Si riportano inoltre le misure di corrente tra i due veicoli in funzione della tensione dei convertitori del Master (

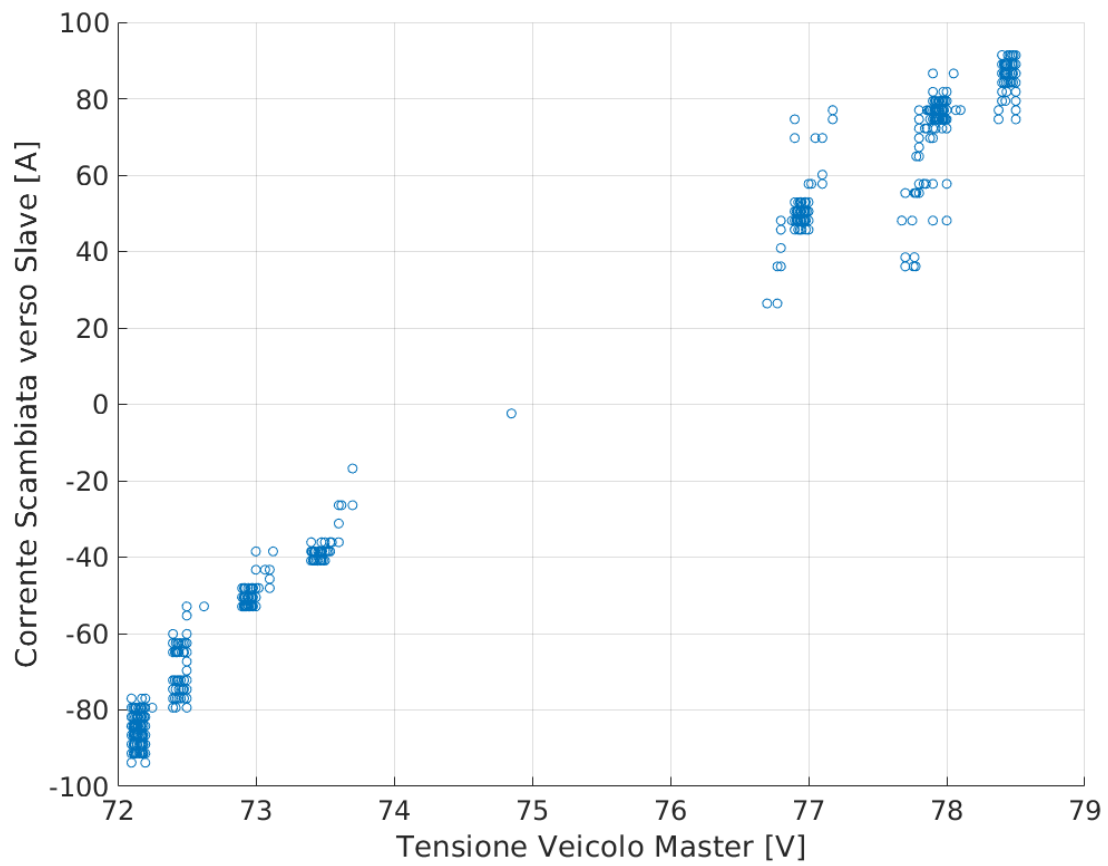


Figura 12).

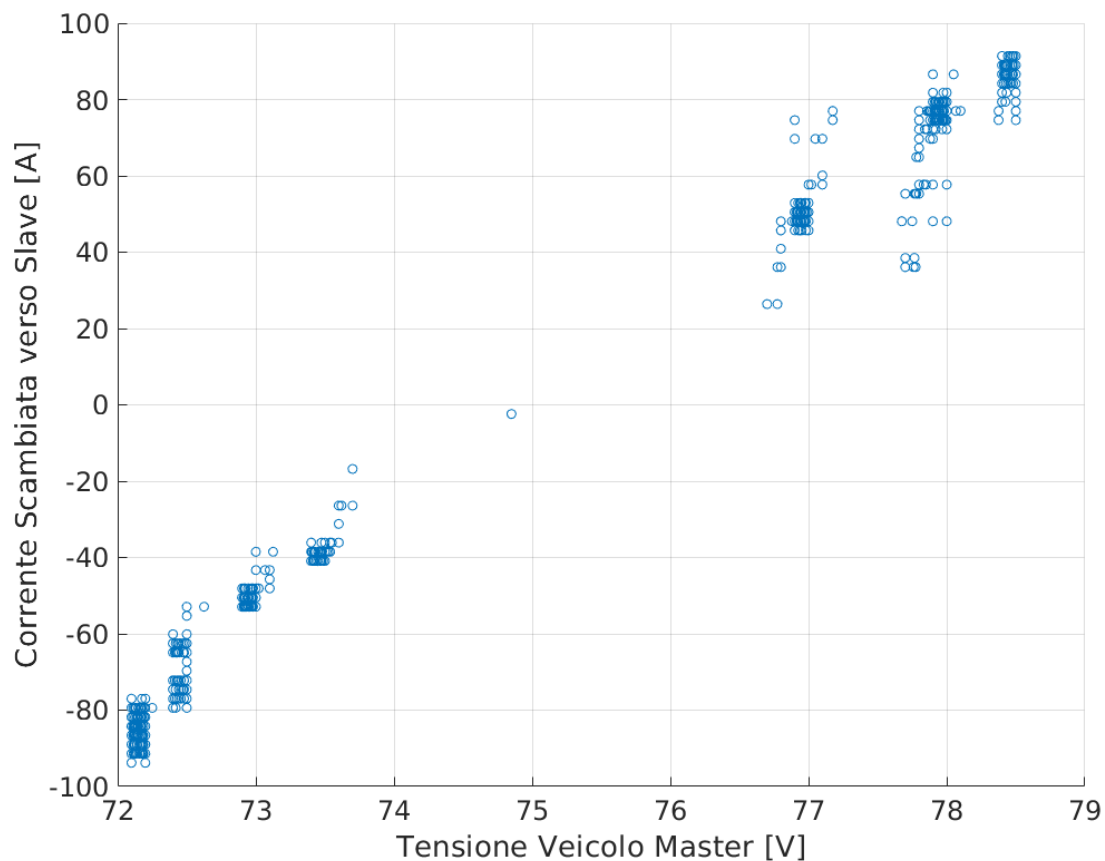


Figura 12: Scatter plot dei valori di corrente transitante fra veicoli in funzione della tensione del DC-BUS, durante test da fermo

Alla tensione di 74.5V circa i due veicoli non scambiano corrente poichè le tensioni sono simili; al crescere della tensione del veicolo Master, cresce la corrente con una costante di proporzionalità pari a circa 70A/3.5V.

A tensioni inferiori a 74.5V, il veicolo Master cede potenza all'altro, con una costante di proporzionalità pari a circa 70A/1.5V

Tale differenza di comportamento è attesa perchè il veicolo Slave, oggetto di sperimentazioni nel periodo 2019-2023, adotta 2 convertitori di tensione di cui uno solo abilitato alla modalità "boost" e 2 abilitati alla modalità "buck". L'effetto è quello ravvisabile.

7.4.2 Test in trazione

Come per i test a veicolo fermo, anche durante le prove in trazione è stata prevista una carica da alimentatore a 400V. Nella fase iniziale della prova, il veicolo Master ha ricevuto energia dal veicolo Slave. Aumentando la tensione sul DC-BUS il Master è passato da ricevente a donatore, e successivamente è stata avviata la fase di trazione sul banco a rulli. Il profilo di prova ha previsto la simulazione di una strada con livelli di pendenza crescenti (0%, 5%, 10%,

15%) con tre fasi di accelerazione e mantenimento della velocità limite (15 km/h) per ogni livello di pendenza.

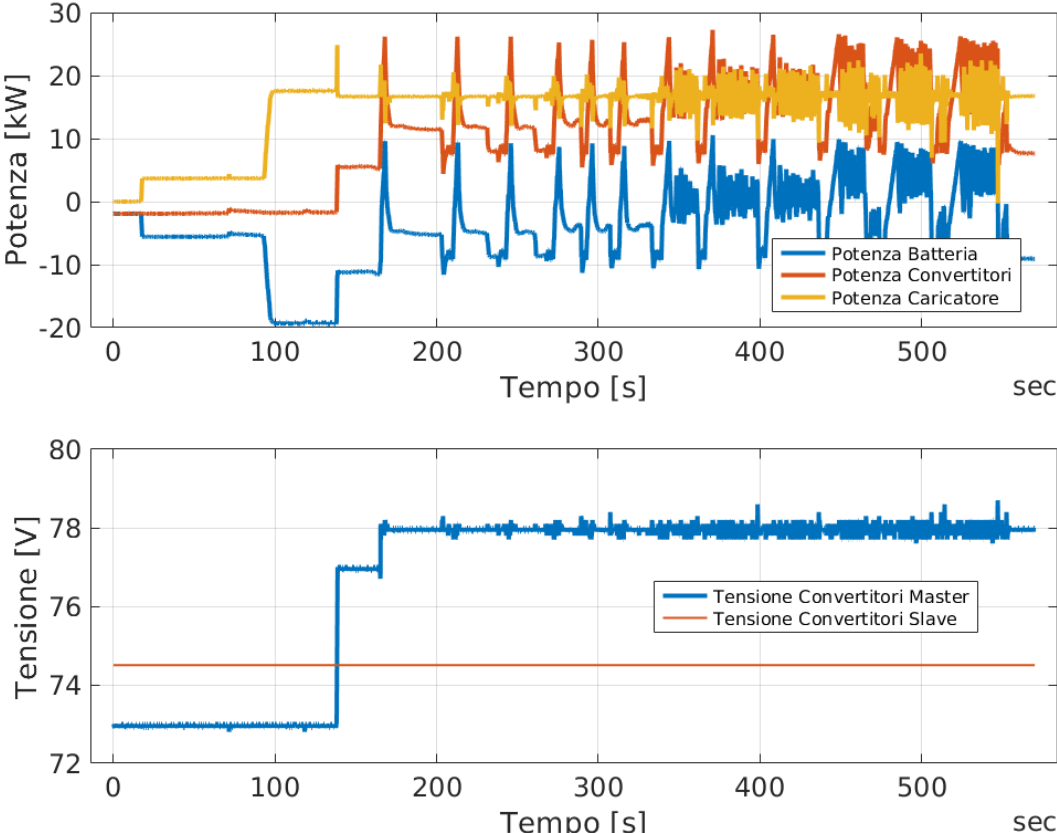


Figura 13: Grafico dei valori di potenza registrati sul ramo di alta tensione, e tensione del DC-BUS, durante test in trazione

La

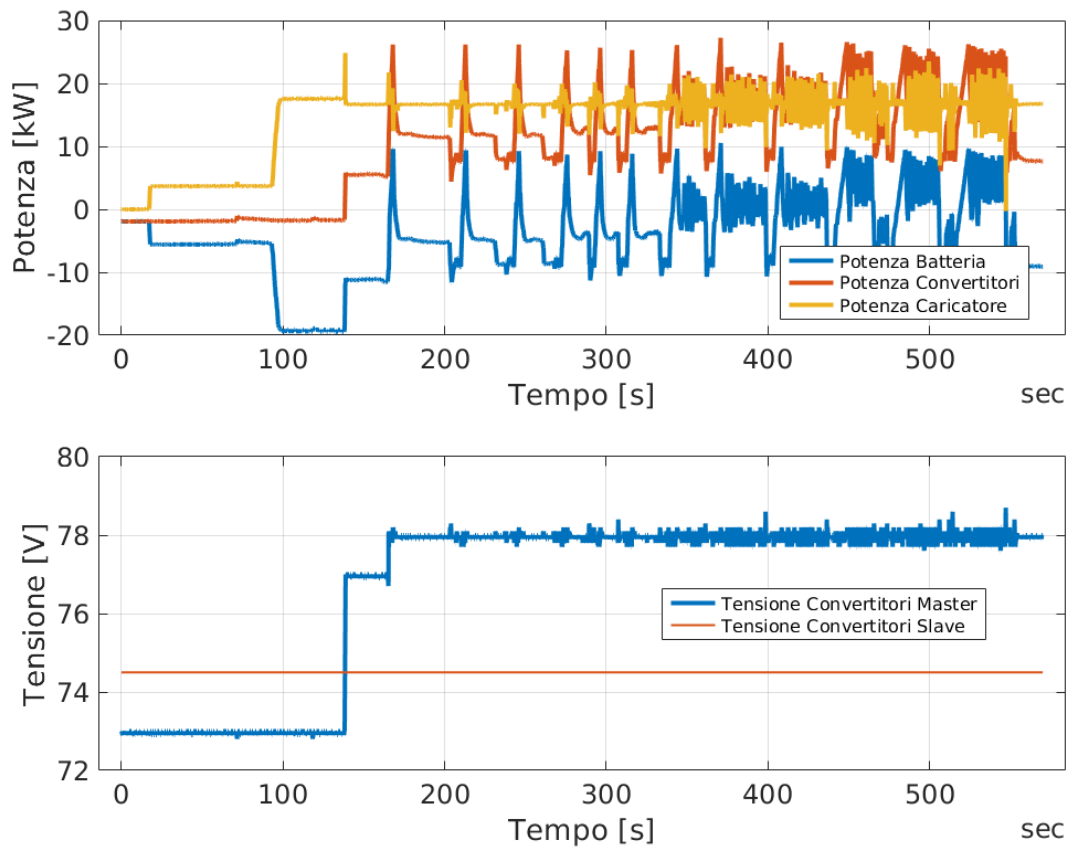


Figura 13 riporta gli scambi energetici sul ramo a 400V del Master. All'istante corrispondente a 140 secondi la tensione del ramo di bassa tensione è stata aumentata, rendendo il Master donatore. Al secondo 165 è iniziata la guida effettiva del veicolo. I 12 picchi visibili nel grafico corrispondono alle fasi di accelerazione. Il valore denominato Potenza Convertitori rappresenta la potenza erogata al powertrain e ai servizi di bordo, oltre a quella trasferita al secondo autobus.

La

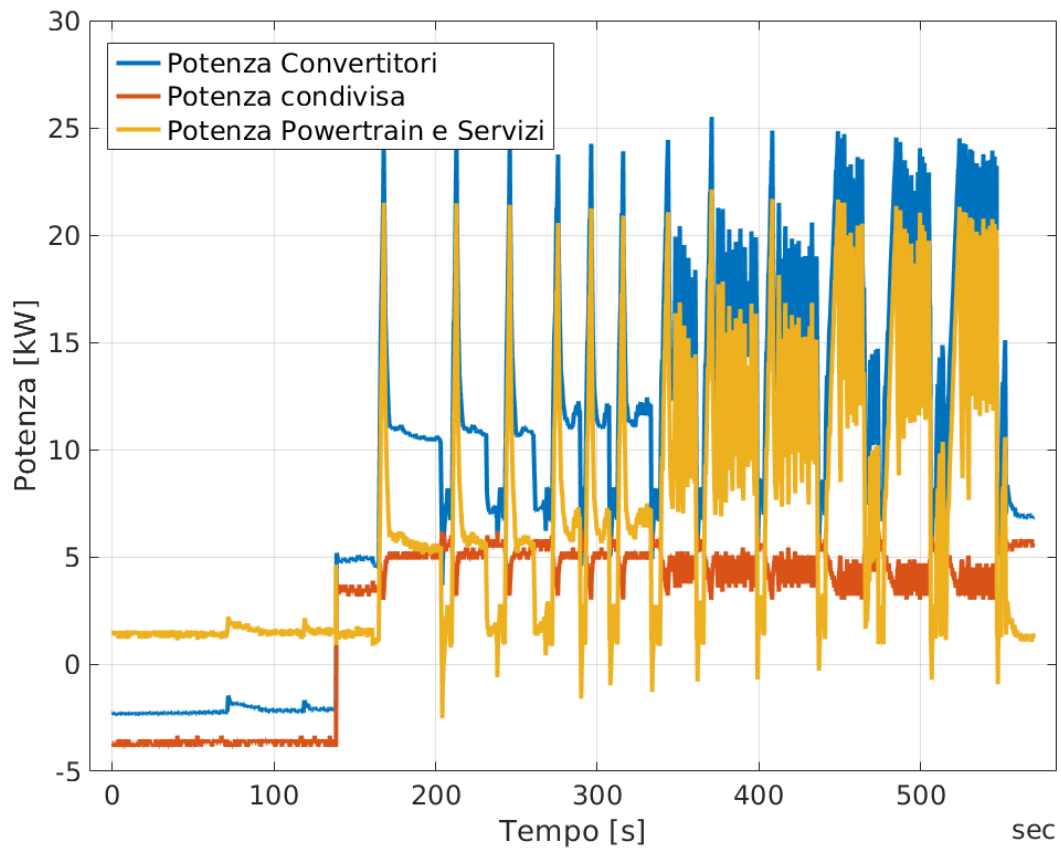


Figura 14 mostra invece i flussi di potenza sul DC-BUS. Si osservano picchi in fase di accelerazione, seguiti da una fase di mantenimento a valori costanti e infine da una discesa, corrispondente al rilascio dell'acceleratore. Durante le fasi di mantenimento della velocità la potenza ceduta al secondo autobus si è stabilizzata intorno a 5 kW, in linea con i target previsti.

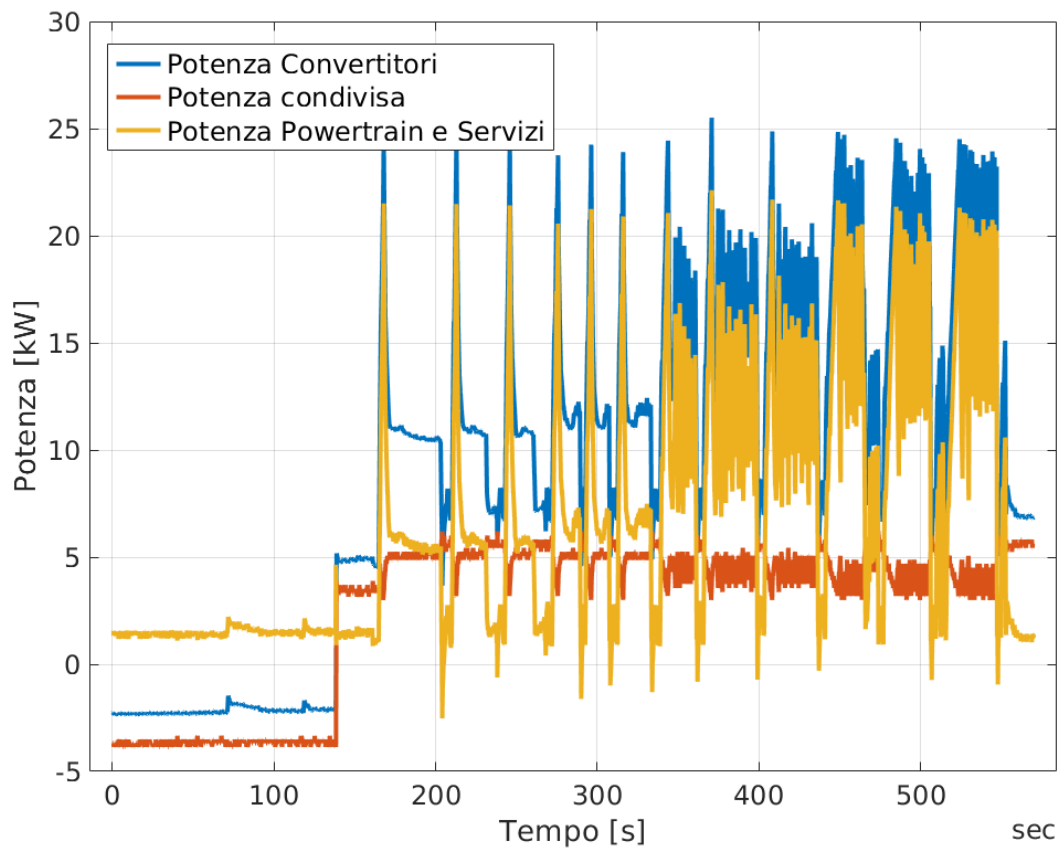


Figura 14: Grafico dei valori di potenza registrati sul ramo di bassa tensione durante test in trazione

I valori di potenza assorbita dal circuito di trazione sono coerenti con le misure dei sensori del banco a rulli, mostrate in

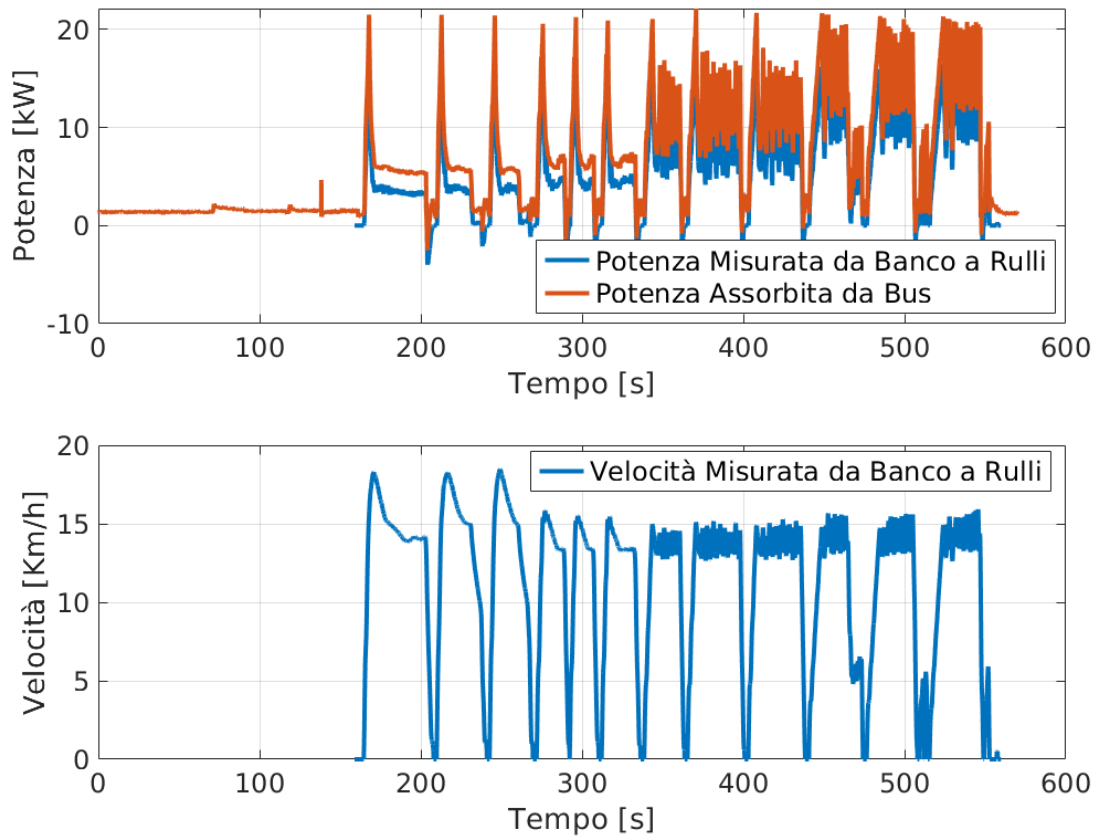


Figura 15 insieme al profilo di velocità. L'offset tra l'assorbimento del powertrain e le letture del banco a rulli è dovuto all'alimentazione dei servizi di bordo del veicolo e alle perdite del sistema di trazione e del banco stesso.

Si

riportano

infine

(

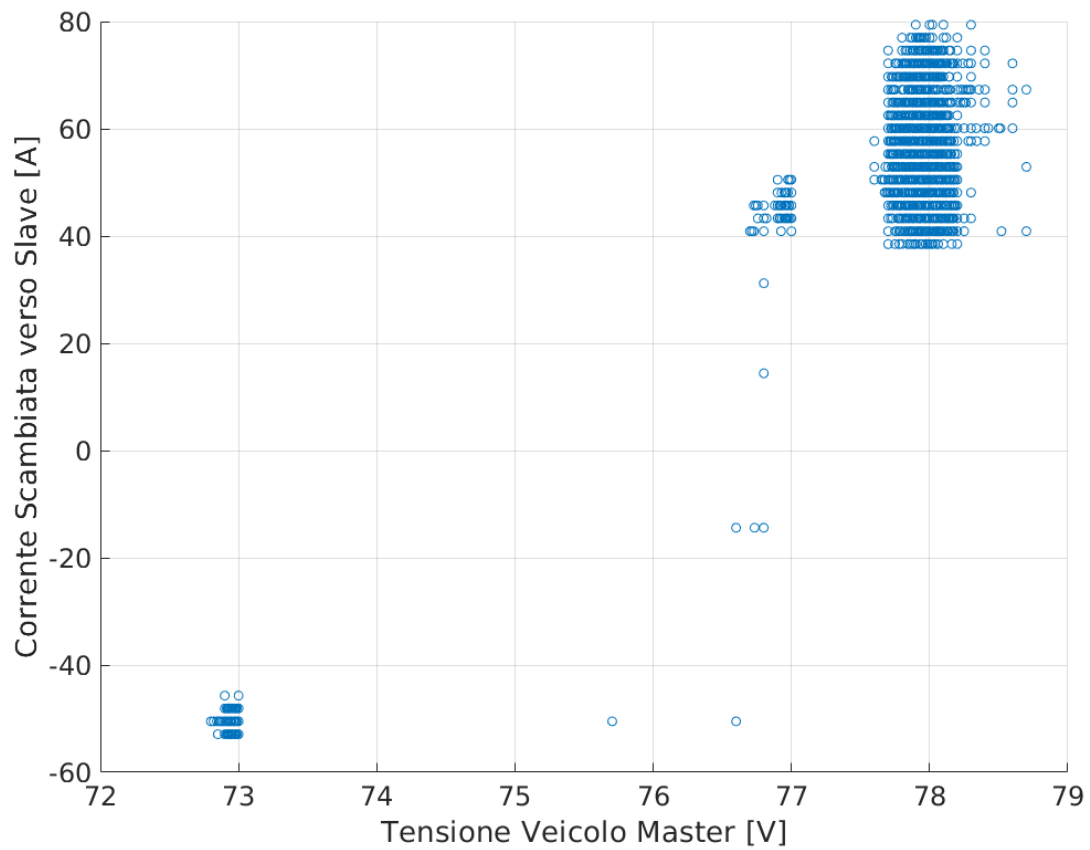


Figura 16) le misure della corrente trasferita fra i due veicoli in funzione della tensione sul DC-BUS comandata dal veicolo Master, che confermano i risultati già evidenziati.

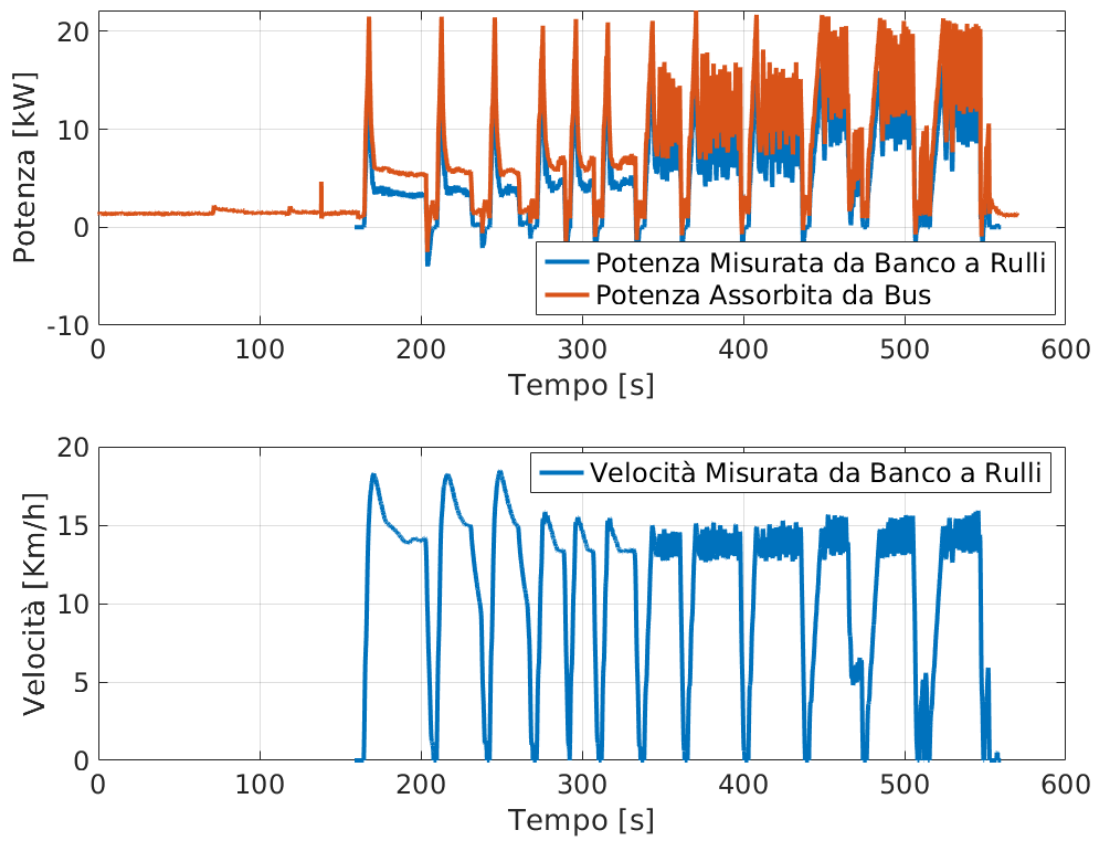


Figura 15: Grafico dei valori di potenza verso il powertrain del veicolo e quelli misurati dal banco a rulli, e misura di velocità del veicolo

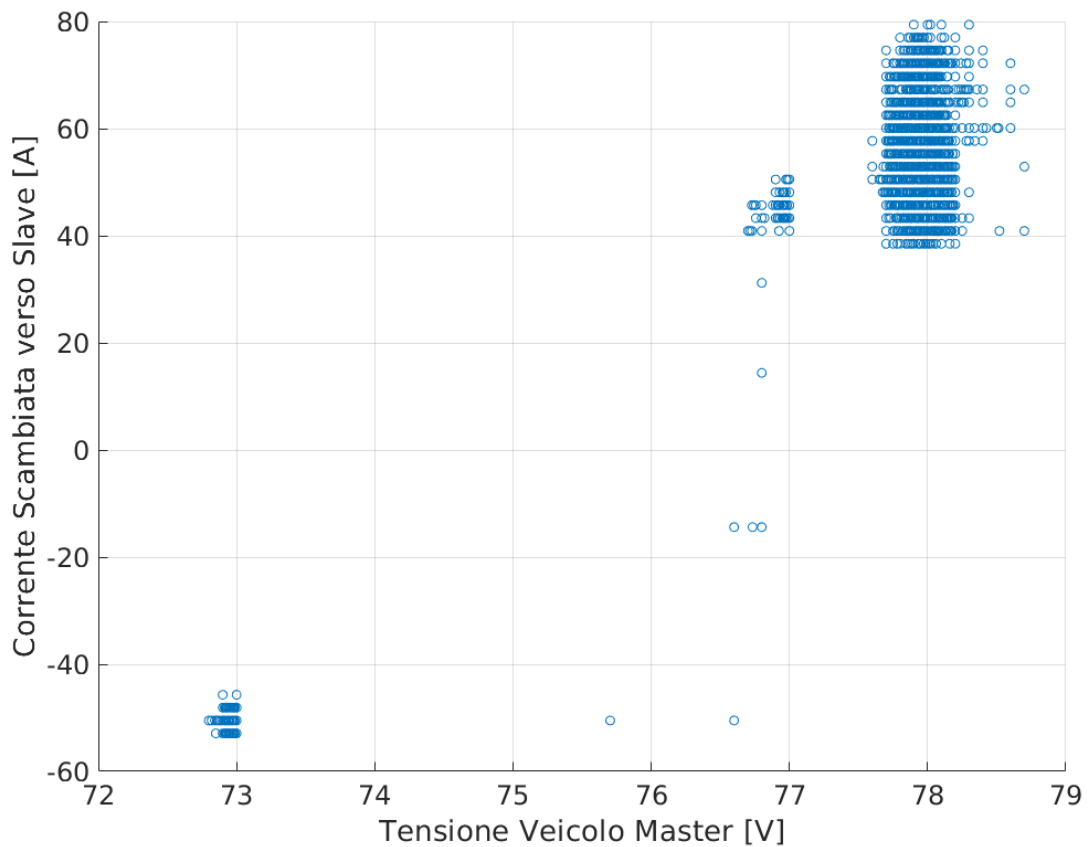


Figura 16: Scatter plot dei valori di corrente transiente fra veicoli in funzione della tensione del DC-BUS, durante test in trazione

7.4.3 Conclusioni

Il trasferimento di potenza tra i due veicoli in definitiva risulta regolabile, stabile, e raggiunge i target previsti. In presenza di marcia del veicolo, il trasferimento di potenza rimane attivo, con variazioni accettabili dovute al maggior assorbimento del gruppo trazione e che hanno l'effetto desiderabile di diminuire il trasferimento all'aumentare della richiesta del guidatore, ottimizzando il comportamento complessivo.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Nella LA non erano previste consulenze.

9 Pubblicazioni scientifiche

Dalle attività della LA sono scaturite le seguenti pubblicazioni scientifiche su rivista internazionale in peer-review e partecipazione ai convegni:

1. Luca Pugi, Michelangelo-Santo Gulino, Fernando Ortenzi, Lorenzo Berzi, Lorenzo Pugliese, Francesco Zazzeri, Adriano Alessandrini 1, An Innovative Current Collection System for Trambus Systems operating under Tramway Catenaries, (2025) 3rd International Conference of IFToMM for SDG (I4SDG2025), Under Review
2. Alessandrini A., Ortenzi F., Cignini F., Gulino M.S., Franci M., Berzi L., Zazzeri F., Pugi L. (2024). Preliminary Design and Simulation of a Return Current Collector for an Innovative Trambus System. In: Concli, F., Maccioni, L., Vidoni, R., Matt, D.T. (eds) Latest Advancements in Mechanical Engineering. ISIEA 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1125. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70465-9_10
3. Pugi L., Alessandrini A., Berzi L., Nassini G., Ortenzi F., Cignini F., Simulation of an Innovative Moving Recharge System for Public Transportation Systems (2023) EUROCON 2023 - 20th International Conference on Smart Technologies, Proceedings, pp. 647 - 652, DOI: 10.1109/EUROCON56442.2023.10199038
4. Alessandrini Adriano, Pugi Luca, Fabbri Marco, Franci Michael, Berzi Lorenzo, Vangi Dario, Gulino Michelangelo Santo, Innovations in public transport with automated vehicles: combining shared dynamic charging, control logic for convoys, and safety connection mechanisms (2025), MT-ITS2025: The 9th International IEEE Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, Luxembourg City, Luxembourg, Under Review

Si sono inoltre organizzate due special session su mobilità sostenibile. La prima presso ISIEA 2024 in concomitanza con un evento di disseminazione del progetto ACCCELBAT (<https://isiea.events.unibz.it/>), la seconda presso IEEE EEEIC 2024 nell'ambito di uno special session/event di giugno 2024 nell'ambito di attività di valorizzazione del PNRR, MOST, Spoke 4.

10 Eventi di disseminazione

Nessun evento di disseminazione scaturito dall'attività svolta.